

GELİŞMEKTE OLAN EKONOMİLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0 GİRİŞİMLERİNE YÖNELİK GÜÇLÜKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

INDUSTRY 4.0 INITIATIVES EVALUATION FOR SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN IN EMERGING ECONOMIES

Özüm EĞİLMEZ*, Gözde KOCA**

* Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, ozum.egilmez@bilecik.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5251-5629>

** Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, gozde.koca@bilecik.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6847-6812>

ÖZ

Endüstri 4.0 son zamanlarda sıkça kullanılan bir kavram olmuştur. Bu kavram, gelişmekte olan ülkelerde özellikle imalat sektöründe tedarik yönetiminin sürdürülebilmesi adına önem arz etmektedir.

Endüstri 4.0 girişimlerinin, tedarik zinciri içerisindeki tüm safhaları etkilediği bilinmektedir. Bu etki geniş çapta; ekolojik, sosyal ve ekonomik alanlardadır. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomiler için nispeten yeni bir kavram olan Endüstri 4.0, sürecin doğru anlaşılması ve uygulanması için net bir tanımlamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma Endüstri 4.0 girişimlerinin temel güçlüklerini tanımayı ve Türk imalat sanayi perspektifinde Sürdürülebilir Tedarik Zinciri için temel güçlüklerin önceliklerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, tedarik zinciri sürdürülebilirliğini geliştirmek için Endüstri 4.0 girişimlerine ait 18 temel güçlük tanımlanmıştır. Bu güçlükler, bir anket formu hazırlanarak LinkedIn'de yer alan, Endüstri 4.0 ile ilgili yönetici pozisyonunda farklı şirketlerde çalışan 150 uzmana uygulanmıştır. Yapılan anketler Keşfedici Faktör Analizi (KFA) ile incelenmiştir. Endüstri 4.0 güçlükleri KFA ile dört önemli güçlük boyutuna ayrılmıştır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile belirlenen güçlükler ve ilgili alt güçlükler göreceli olarak sıralanmıştır. Çalışmada, en yüksek göreceli ağırlığa sahip olan güçlük, Örgütsel Güçlükler olarak belirlenmiştir. İkinci sırada Teknolojik Güçlüklerin, üçüncü sırada Legal ve Etik Güçlüklerin ve son olarak dördüncü sırada Stratejik Güçlüklerin yer aldığı ortaya konulmuştur.

Bu çalışma uygulayıcılar, politika yapıcılar, düzenleyici kurumlar ve yöneticiler için Endüstri 4.0 girişimlerinin derinlemesine anlaşılmasını sağlamak ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri için Endüstri 4.0 girişimlerinin önündeki potansiyel güçlükleri ortadan kaldırmak için yararlı olacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Analitik Hiyerarşi Süreci, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi, Karar Verme, Stratejik Yönetim

Jel Kodları: O14, O32, O33, C35, R11

ABSTRACT

Industry 4.0 is the current topic that is widely used in business and industry. It is also relatively novel for the developing countries like Turkey in terms of supply chain sustainability in industry sector. Due

to the importance of defining the business system especially designing, producing, delivering, safety and efficiency, Industry 4.0 initiatives are needed to be analyzed for an effective business practices. This paper aims to recognize key challenges of Industry 4.0 and analyze the main challenges for an effective supply chain sustainability in an emerging economy referring Turkish manufacturing industry perspective. Adaptation of such initiatives is not that easy due to the nature of the challenges. For this reason, the present research identifies 18 main challenges to Industry 4.0 initiatives and analyzes through 150 responses gathered from Turkish manufacturing sector using a questionnaire based survey. In order to classify the main challenges, Explanatory Factor Analysis is used. Further, Analytical Hierarchy Process is used to rank the identified dimensions of challenges and related challenges. The findings revealed that Organizational challenges showed the highest importance followed by Technological challenges, Legal and Ethical challenges and Strategic challenges as the least importance.

It is expected that this study will be useful for practitioners, policy makers, regulators and managers to provide an indepth understanding of Industry 4.0 initiatives and to eliminate potential challenges for Industry 4.0 initiatives for the Sustainable Supply Chain.

Keywords: *Industry 4.0, Analytical Hierarchy Process, Supply Chain Sustainability, Decision Making, Strategic Management.*

Jel Codes: *O14, O32, O33, C35, R11*

1. GİRİŞ

Son yıllarda imalat sektöründe mevcut olan gereklilikler arttıkça, karmaşıklıklar da giderek artmaktadır. Küresel rekabetin giderek büyümesi, pazar oynaklığının artması, giderek kişiselleştirilmiş ürünlere olan talebin artışı ve ürün hayat döngüsünün giderek azalması gibi faktörler firmalar için aşılması gereken ciddi engeller yaratmaktadır. Günümüzde maliyet etkinliği, esneklik, adaptasyon, istikrar ve sürdürülebilirlik gereksinimlerini sağlayarak değer yaratmayı sağlayan mevcut yaklaşımların yetersiz kaldığı belirtilmektedir. Diğer taraftan ise, sanayi sektöründeki gereksinimlerin artması, teknolojik süreçlerin hız kazanması, yeni iş fırsatları yaratmıştır. Belirtilen tüm bu değişim ve dönüşümler Endüstri 4.0 çatısı altında yer almaktadır.

Bu kavramın ortaya çıkışı, imalat sektöründeki öncülüğü ile tanınan Almanya'nın 2011 yılında tam entegre olmuş bir endüstri politikasının, ileri teknoloji bağlantılı bir stratejisi olan Endüstri 4.0 girişimini (Industrie 4.0) açıklaması ile olmuştur (Brettel, Friederichsen, Keller, ve Rosenberg, 2014).

Endüstri 4.0, son zamanlarda dillere pelesenk olmuş bir bilgi teknolojisi kavramıdır. (Hermann, Pentek, ve Otto, 2016). Bu kavram; imalat sürelerinin düşürülmesi, ürün kalitesinin ve örgütsel performansın artırılması vb. durumlarını içeren değer zincirinin geliştirilmesi için çeşitli teknolojileri barındırmaktadır. Fiziksel aygıtları içlerine gömülü olan (sensör, radyo frekans tanımlayıcı, actuators) elektronik içeriğin internet veya bir network kanalı ile etkileşim göstererek birbirlerine bağlayan bir paradigma olarak da tanımlanmaktadır. Bu etkileşim ve bilgi alışverişi sadece makineler arası değil, insan-insan ve insan-makine arasında da gerçekleşmektedir (Wan vd., 2016).

Endüstri 4.0'ın imalat sektörünün içine girmesi tüm tedarik zincirini etkilemektedir. Tedarikçiler, imalatçılar ve müşteriler arasındaki işbirliğinin, sipariş aşamasından son ürün evresine kadar şeffaflığını arttırmak üzere önem arz etmektedir. Bununla birlikte, otomasyon süreçlerinin dijitalleştirilmesi yine tüm tedarik zinciri yönetimi yapısını etkilemektedir. Bu nedenle, yeni teknolojilerin kullanıma kazandırılmasından önce olası fırsat ve tehditleri anlayabilmek adına, Endüstri

4.0'ın tedarik zincirinin her adımındaki etkisini analiz etmek önemlidir.

Dördüncü sanayi devrimi, anlam itibarıyla bir devrim niteliğinde olsa da uygulanabilirliği safhasında çeşitli kısıtlar barındırmaktadır ki, karar vermede bu kısıtların çok iyi irdelenmesi gerekmektedir. Böylesi bir devrim hem firmaların çeşitli organizasyonel değişikliğe gitmesi gerekliliğini içermekte, hem de endüstriler arası sınırları kaldırmaktadır. Bu sebepten, uygun altyapı ve standartların gerçekleştirilmesi ön koşulu bulunmaktadır. Bunlar arasında, veri güvenliğinin sağlanması, risk yönetimi, eş zamanlı materyal akışı, lojistik çalışanların eğitimi gibi faktörler bu devrimi uygulamadan önce karşımıza çıkan önemli faktörlerdendir. Endüstri 4.0 içerisinde barındırdığı vizyona ulaşabilmesi için birçok bağımsız değişkeni anlamlandırma ve ortaya koyma zorunluluğu mevcuttur.

Endüstri 4.0'ın fırsatlarından bahseden sayısız ampirik çalışmalara bakıldığında (Bkz. Kamble vd. 2018) firmaların bu vizyona dahil olmaları beklenilmekte, hatta bu girişim içerisinde yer almanın zorunluluğundan bahsedilmektedir. İleri teknoloji stratejisi olarak ortaya atılan bu girişim son yıllarda oldukça ilgi çekse de hala genel olarak kabul edilmiş bir tanımdan yoksundur. Bu durum küresel tanım karmaşıklığının yanında, Türkiye örneği için de geçerliliğini korumaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'de Endüstri 4.0 girişimlerine yönelik literatürde bahsedilen uygulama güçlüklerini açığa çıkarmak amaçlanmıştır. Bu amaçla Endüstri 4.0 konusu ile ilgilenen uzman bireylerden veri toplayarak, olası uygulama güçlüklerini değerlendirilmiştir.

Çalışma, beş ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümde Endüstri 4.0'ın güncelliğinin anlatılması ve vurgulanması ile birlikte amaç, araştırma sorusu ve yapısından bahsedilmiştir. İkinci bölüm literatür özetinden oluşmaktadır. Daha sonra materyal ve metodun sunulduğu üçüncü bölüm; bulgular ve uzman görüşlerinin değerlendirildiği dördüncü bölüm ile

çalışmanın sonuçları ve gelecekteki araştırmalara sunulan önerileri içeren beşinci bölüm gelmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatüre bakıldığında Endüstri 4.0 konusunun avantajları ve kısıtlarını içeren çok sayıda makale mevcuttur. Ancak bakıldığında bu mevcut araştırmaların Endüstri 4.0'ın uygulamasına yönelik ana faktörlerin ve bu faktörler arasındaki ilişkilere yönelik olmadığı görülmektedir. Sektörel anlamda Endüstri 4.0 uygulamasında öncül teşkil eden faktörlerin ortaya konma gerekliliği mevcuttur. Bu sayede konunun derinlemesine anlaşılabilmesi konusundan yola çıkılarak, sektörün kendine özgü nitelikleri doğrultusunda belirli gereklilikler ortaya konulup Endüstri 4.0 uygulamalarının başarısına yol gösterici olunabilecektir. Burada amaç yeni teknolojilerin uygulanmadan önce sektör içindeki firmaların karar mekanizmalarını tekrar gözden geçirmelerini sağlayacak veriler elde etmektir (Oesterreich & Teuteberg, 2016). İlişkisel durumları ortaya koymak için çok kriterli karar verme tekniklerinin, yorumlayıcı yapısal modelleme (ISM) ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Kamble, Gunasekaranb, Gawankar, 2018).

2.1. Endüstri 4.0'ın Ortaya Çıkışı

Sanayi sektörü, Avrupa'da ekonomik büyümenin (örneğin, iş yaratılması) temel bir unsuru olarak hizmet veren ve tüm ihracatın %75'ini ve tüm yeniliklerin %80'ini karşılayan önemli bir etken olarak yer almaktadır (Dujin, Geissler ve Horstkötter, 2014). Bununla birlikte, Avrupa üretim alanı iki yönlüdür. Doğu Avrupa ve Almanya sürekli büyüyen bir sanayi iken, İngiltere veya Fransa gibi birçok Batı Avrupa ülkesi, son yirmi yılda küçülen pazar paylarına sahiptir. Avrupa, son 20 yılda sanayi payının yaklaşık %10'unu kaybederken, gelişmekte olan ülkeler paylarını iki katına çıkarmayı başarmış ve küresel üretimin %40'ını

karşlamıştır. Bu sebepten, Almanya sanayi sektörü içerisindeki öncü rolünü korumak adına birtakım stratejiler tasarlamaya başlamıştır.

Endüstri 4.0 terimi, gelecekte sektörün gelecekteki üretim gereksinimlerine göre sanayi sektörünü hazırlayacak ve güçlendirecek şekilde Almanya'nın yüksek teknoloji stratejisinin bir parçası olarak 2011 yılında Hannover Ticaret Fuarı'nda tanıtılmıştır (Mittermair, 2015). Nesnelerin interneti (IoT, Internet of Things); sensörler ve aktivite ediciler aracılığıyla çevreleriyle etkileşim kurabilen siber fiziksel sistemler ile (CPS, Cyber-Physical Systems), fabrikaların kendilerini merkezi olmayan bir şekilde ve gerçek zamanlı olarak kendilerini özerk bir şekilde organize etmelerinin ve kontrol etmelerinin sağlanması doğrultusunda Endüstri 4.0'ın önemli unsurlarından sadece biri olarak ortaya çıkmıştır (Wong ve Kim, 2014).

Yetenekleri nedeniyle, bu fabrikalara genellikle “akıllı fabrikalar” denmektedir. Tüm bu kavramlar arasında geliştirilmiş robotlar ve yapay zeka, ileri teknoloji sensörler, bulut bilişim, nesnelerin interneti (IoT), veri yakalama ve analizi, dijital imalat (3D baskılar), hizmet yazılımları ve diğer pazarlama modelleri, motorlu araçları harekete geçiren algoritmaların yer aldığı platformlar (navigasyonlar, yolculuk deneyimini paylaşan uygulamalar, evlere servis hizmetleri, kendi kendini kullanan araçlar vb.) ve tüm bu unsurların, birçok ülkeden birçok şirket tarafından paylaşılan, birlikte çalışabilir bir küresel değer zincirinde yerleştirilmesi göz önünde bulundurulduğunda; bu yeni sistemler ile gelecekte insanların ve makinelerin CPS vasıtasıyla, akıllı ürünler ve sanayi süreçlerinin yaratılması adına kaynakları kullanacaktır. Böylesi bir durum gelecekteki alışveriş modellerindeki hızlı değişime ayak uydurabilmeyi sağlayıcı olacaktır (Tjahjono, Esplugues, Ares ve Pelaez, 2017).

Buraya kadar verilen bilgiler ışığında, Endüstri 4.0 için özgün ve özlü bir tanım bulma zorluğu ortaya çıkmaktadır ve

araştırmacı ve uygulayıcılar arasındaki görüş ayrılıklarının olması şaşırtıcı değildir. Bununla beraber Endüstri 4.0'ın uygulamadaki başarısı ve ne kadar sürdürülebilir olacağının daha kesin bir şekilde anlaşılması ve dolayısıyla Endüstri 4.0'ın altında kalan ana bileşenleri ortaya koymak gerekmektedir (Hofmann ve Rüşch, 2017).

2.2. Endüstri 4.0 ve Tedarik Zinciri ve Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik organizasyonel bir bağlamda düşünüldüğünde, yöneticileri, değer zincirlerindeki teknolojik gelişme ve süreç yeniliklerinin benimsenmesiyle karşı karşıya bırakmaktadır. Endüstri 4.0 girişimlerine dayanan yeşil, yalın, dağıtık üretim gibi süreç inovasyonları, modern bilişim teknolojisiyle birleştirildiğinde, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik bir *kültür* olarak algılanmaktadır. Böylesi bir kültür, özellikle gelişmekte olan ekonomilerdeki üretim ortamı için yeni sürdürülebilir eğilimleri geliştirecektir (Duarte ve Cruz-Machado, 2017).

Endüstri 4.0, farklı tedarik zinciri kökenli zengin verileri eş zamanlı olarak, daha verimli tedarik zinciri oluşturma kararına yön verici bir rol oynayabilmektedir. Ürünlerden, lojistik faaliyetlerinden ve üretim makinelerinden enformasyon anlık elde edilip, fiziksel ve dijital dünyaları birleştirebilmektedir. Elde edilen data ile mevcut alternatiflerine kıyasla çok gelişmiş ürün ve hizmetler karşımıza çıkacaktır. Endüstri 4.0'ın *akıllı (smart)* bileşeni sayesinde ürünler eşsiz ve benzersiz tanımlanabilmekte ve üretim süreçlerinin karmaşıklığının artmasını yönetebilir kılabilir (Johannes ve Strandhagen, 2017).

Organizasyonların ve toplumun sürdürülebilir kalkınmaya doğru ilerleyebilmesinde, Endüstri 4.0'ın bir düşünce yapısı (zihniyet) olduğu varsayılmaktadır (de Sousa Jabbour, Jabbour, Godinho Filho, & Roubaud, 2018).

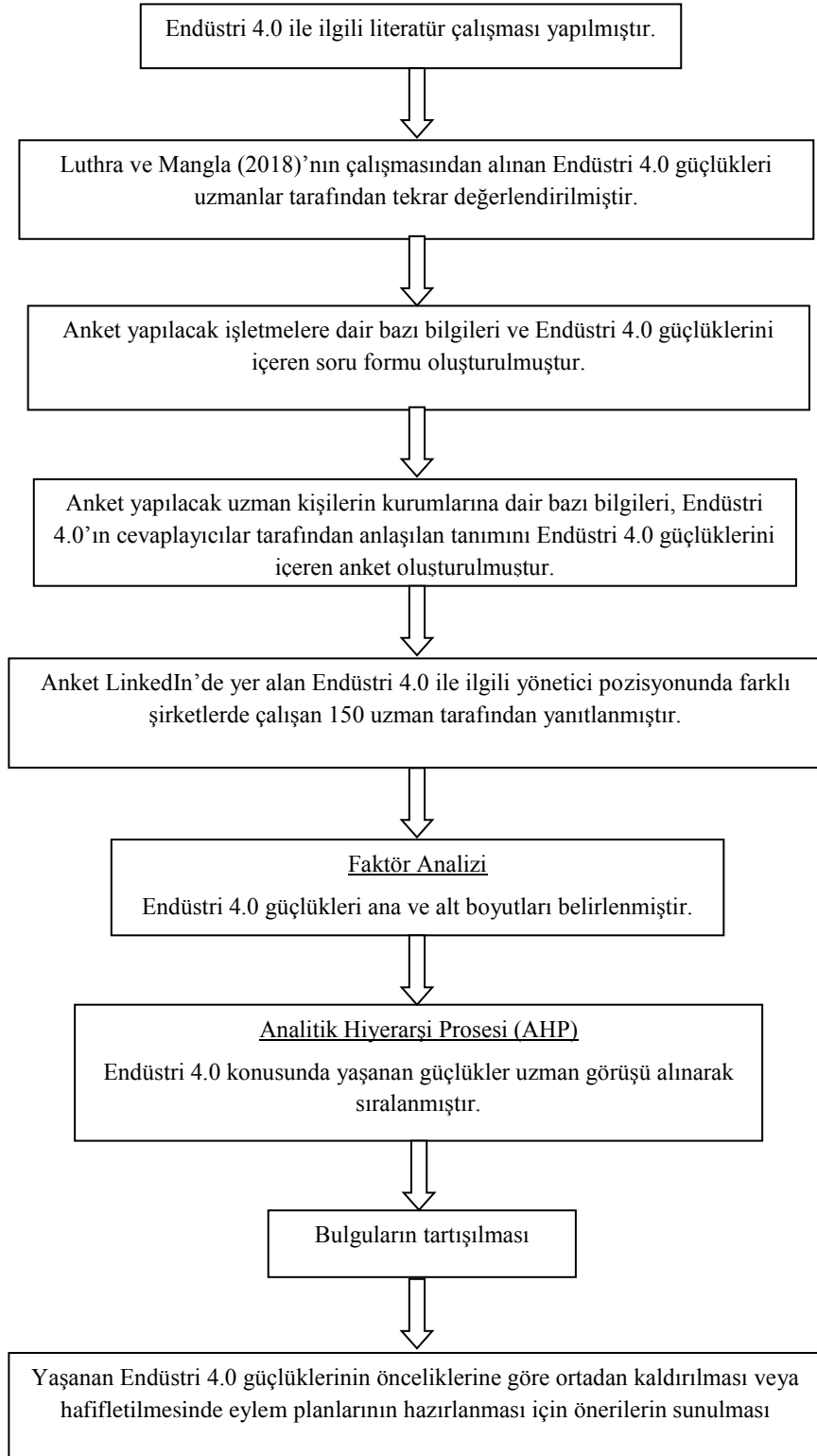
Endüstri 4.0 aynı zamanda geleceğin tedarik zinciri olarak da anılmaktadır. Akıllı fabrikalar, kaynakların ve teknolojinin optimal kullanımı gibi çeşitli sürdürülebilirlik uygulamasına sahip olabileceklerdir. Bu durum Endüstri 4.0'ın tedarik zinciri içerisindeki sürdürülebilirliği nasıl etkilediğini ortaya koyacak araştırmaların temeli olacaktır. Elde edilecek kazanımların büyüklüğünü öngörebilmek için, yöneticilerin bu terimi çok iyi anlamlandırmaları bir gereklilik olarak görülmektedir (Brettel, Friederichsen, Keller ve Rosenberg, 2014).

Kamble vd.'nin (2018) literatür taraması çalışmalarında, sürdürülebilirlik konusunun kavramsal olarak tartışıldığı yalnızca altı makalenin olduğu belirtilmiştir (Kamble vd., 2018, s.415). Tedarik zinciri bağlamında bakıldığında, uçtan uca dijital entegrasyon yoluyla işletme maliyetlerinin Endüstri 4.0 ile düşürüldüğüne inanılmaktadır. Bu durumun tam tezatı, yüksek uygulama maliyetlerine katlanabilme meselesidir. Her iki maliyetin kazanımlarının karşılaştırıldığı (fayda-maliyet analizi) bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönde yapılacak araştırmalar, mevcut müşteri hizmetlerini destekleyen Endüstri 4.0 çözümlerini, tedarik zinciri optimizasyonunu, yeniden üretim ve geri dönüşüm uygulamalarını değerlendirebilmekte önemli rol oynayacaktır. Bu çalışma ile genel ve ulusal açıdan Endüstri 4.0 sürdürülebilir tedarik

zinciri araştırmalarında mevcut boşluğu doldurmak adına planlanmıştır. Bu çalışmada ülkemiz Endüstri 4.0 bakış açısı ile Luthra ve Mangla (2018) çalışması sonucunda elde edilen faktörler sürdürülebilir tedarik zinciri bağlamında değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır (Luthra ve Mangla, 2018).

3. METODOLOJİ

Bu çalışma için benimsenen araştırma metodolojisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'den de anlaşılacağı gibi, konu ile ilgili gerekli literatür çalışması yapıldıktan sonra Luthra ve Mangla (2018)'nin çalışmasında yer alan Endüstri 4.0 güçlükleri konunun uzmanları tarafından tekrar değerlendirilerek son halini almıştır. Daha sonra ise şirketlere dair bazı bilgileri, Endüstri 4.0'ın katılımcılar tarafından anlaşılabilir tanımları ve güçlüklerini içeren bir anket formu hazırlanmıştır. Bu ankete, LinkedIn'de yer alan ve Endüstri 4.0 ile ilgili yönetici pozisyonunda farklı şirketlerde çalışan 150 uzmana tarafından yanıtlanmıştır. Yapılan anketler Keşfedici Faktör Analizi (KFA) ile incelenmiştir. KFA sonucu elde edilen ana ve alt güçlüklerin öncelikleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile değerlendirilmiştir. Daha sonrasında bulgular tartışılarak, Endüstri 4.0 karşısında yaşanan güçlüklerle karşı eylem planlarının hazırlanması için önerilerde bulunulmuştur.



Şekil 1: Araştırma Metodolojisi

3.1. Veri Toplama

Türkiye’de yer alan imalat sektörleri, bu araştırmada hedef kitle olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmanın örneklem büyüklüğünü ise, Endüstri 4.0 konusunda uzman 150 kişi oluşturmaktadır.

3.2. Verilerin Analizi

Araştırmanın soru formunun ilk başında Endüstri 4.0 konusundaki kavram karmaşasının durumunu tartışabilmek adına “Endüstri 4.0 kavramı sizin için neyi ifade etmektedir?” sorusu açık uçlu soru olarak sorulmuştur. Yanıtlayıcıların konularında uzman olmaları nedeniyle, Endüstri 4.0 terimine hakim oldukları, ifadeleri incelendiğinde görülmüştür. Yanıtlayıcılar özellikle içerisinde Endüstri 4.0 girişimlerini vurgulayarak bir Endüstri 4.0 tanımı yapmışlardır. Tanımların içerisinde geçen Endüstri 4.0 girişimleri ifadelerinden bazıları: *dijitalleşme, insansı makineler, nesnelere interneti, siber-fiziksel sisteme dayalı sanayi devrimi, makine öğrenmesi, yapay zeka, akıllı fabrikalar, dijital devrim, bütünlük iş sistemleri, verilerle karar verebilme, dijital dönüşüm, konuşan cihazlar, big data, verimli iş modelleri* olarak karşılık bulmuştur. Bu ifadeler sonucu araştırma yanıtlayıcılarının konularının uzmanı olduğu ve dolayısıyla Endüstri 4.0 girişimleri hakkında bilgi sahibi oldukları görülmüştür. Burada vurgulanması gereken bir bulgu ise; tanımların genelinde üretim ayağındaki dönüşümün daha verimli olmak adına yapıldığının vurgulanmış olmasıdır.

İçerik analiz edildiğinde Endüstri 4.0 uzmanlarının Türkiye özelinde Endüstri 4.0 kavramına bakış açıları doğrultusunda Endüstri 4.0’ın *eleştirel-destekleyici* doğrultusunda şekillendiği söylenebilir. Öznel ifadelerin daha ziyade eleştirel, nesnel ifadeler olarak ayrılan grubun ise daha olumlu bir bakış açısı (destekleyici) yansıttığı söylenebilir. Yanıtlayıcıların büyük bir çoğunluğu verimlilik, üretim miktar ve kalite artışı veya dönüşümün olumlu katkılarına vurgu yaparken aşağıdaki olumsuz (eleştirel) bakış açıları da görülmüştür:

“...zaten var olan durumu tanımlama, buradan motivasyon davranışları çıkararak insanları daha verimli çalıştırma amaçlı bir nevi gizli bir sömürme ve robotlaştırma...”

“...biraz marketing, biraz da çağın gerekliliği ama kaçınılmaz gerçek...”

“...Çin’in yükselişinin batıda oluşturduğu kaygıyı, gelişen teknolojinin yardımıyla üretimdeki verimlilikleri artırıp mavi yaka ihtiyacını ve maliyetleri en aza indirmek için yapılan girişimlerin bütününe verilen addır...”

İçerik analizinde ortaya konulan bir diğer durum ise; Endüstri 4.0’ı ayrıntılı olarak açıklayan katılımcıların kavramın işlevselliği tartışmalarının beraberinde, rekabet avantajı anlamında mutlak uygulamaya geçirilmesi yönünde ifadelerde bulunmalarıdır. Bu ifadeler aşağıdaki gibidir:

“...tüm endüstri kurumlarda konuşulan, hiç dilden düşmeyen fakat önce firmalarda oturması için gerek kültürel gerek ekonomik anlamda en az 10 yıla daha ihtiyaç duyan bir gelişimdir...”

“...Endüstri 4.0 ile birlikte insan gücünün yerini makine ve robotların alması ön görülüyor. Bu şekilde üretimde kalite ve müşteri memnuniyeti kusursuza yakın bir hale gelebilir. Makine ve robotların kontrolü tamamen kendi yapay zekalarıyla olup sorunsuz bir şekilde sürdürülebilir. Endüstri 4.0 tam anlamıyla hayata geçmiş olmasa da Avrupa’da bazı büyük şirketler bu konu hakkında öncülük yapmaktadır. Hala gerekli Ar-ge çalışmaları da devam etmektedir...”

“...diğer endüstriyel devrimler gibi aslında yeni bir era olarak görülmekle beraber, bazı belirsizlikler ve yatırımlara yönelik endişeler, bu tip bir oluşumun diğer eski endüstriyel devrimler gibi entegre olmasını ertelemektedir. Bunların başında otonom sistemlerin devreye alınmasından kaynaklı işsizlik sorunu gelebilir. Fakat bu durumun, diğer endüstriyel devrimlerde de olduğu gibi kalifiye eleman ihtiyacı ve arayışını arttırması ile beraber artık mavi

yaka kavramının da bir noktadan sonra ortadan kalkacağı ve bu alanda çalışan her çalışanın beyaz yaka olacağını anlaması önemli bir noktadır. Öte yandan, bu konseptin en önemli unsurlarından biri olan nesnelere interneti ve bununla beraber tamamlayıcı bir unsur olan makine öğrenmesi göz önüne alındığında, insan faktörünün dışında gelişen süreçler söz konusu olacaktır. Bu noktada da, alışlagelmiş ve geleneksel bir siber güvenlik anlayışının ötesine geçmek gerekmektedir...”

“...gelişmiş bir yapıda üretim sürecinin geliştirilmesi, hızlı ve kaliteli bir üretimin oluşturularak müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına uygun üretimleri sağlayacak sistemin fabrikaya entegre edilmesini ifade etmektedir. Bu nedenle işletmelerin Endüstri 4.0'a uyum sağlayan üretim etkinliklerinin oluşturularak, başarılı bir üretim süreci geliştirilmelidir. Küreselleşme sürecinde şirketlerin

devamlılıklarının sağlanması ve rekabetçi bir yapıda etkin olmada, Endüstri 4.0'a ihtiyaç fazladır. Bu bilincin işletmelerde önem kazanması ve çalışanlarında bu tür üretimi desteklemesi ve yeni bilgileri öğrenmeleri gerekmektedir...”

Bu araştırmanın ikinci aşamasında nicel veri toplama yöntemi olan anket kullanılmıştır. Anket için LinkedIn sitesinden yararlanılarak Endüstri 4.0 ile ilgili ve farklı şirketlerde çalışan yönetici pozisyonundaki 204 uzmana e-posta atılarak anketi cevaplaması istenmiştir. Bu uzmanların 150'sinden dönüş alınmıştır.

Anketin önemli sonuçlarındaki farklılıkları değerlendirmek için çeşitli kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Bu kriterler sektör, organizasyon tipi, yıllık ciro, iş tipi, tedarikçiler hakkında bilgi ve otomasyon seviyesi olarak belirlenmiştir. Ankete yanıt veren şirketlerin demografik özeti Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Ankete yanıt veren şirketlerin demografik özeti

| S. No. | Organizasyon Bilgileri | Kriterler | Sayı | Yüzde |
|--------|------------------------|------------------------------|------|-------|
| 1 | Sektör | Otomotiv | 28 | 18 |
| | | Metal Sanayi | 18 | 12 |
| | | Elektrik-Elektronik | 22 | 15 |
| | | Yiyecek-İçecek | 12 | 8 |
| | | Tekstil | 10 | 7 |
| | | Diğer | 60 | 40 |
| 2 | Organizasyon Tipi | Özel Sektör | 128 | 86 |
| | | Kamu Sektörü | 11 | 7 |
| | | Çok Uluslu Şirket | 11 | 7 |
| 3 | Yıllık Ciro | 4 milyon TL'den az | 35 | 23 |
| | | 4 milyon TL - 40 milyon TL | 36 | 24 |
| | | 40 milyon TL - 100 milyon TL | 16 | 11 |
| | | 100 milyon TL' den fazla | 63 | 42 |
| 4 | İş Tipi | Orjinal ürün üreticisi | 52 | 35 |
| | | Tedarikçi | 33 | 22 |
| | | Her ikisi de | 65 | 43 |
| 5 | Tedarikçi Sayısı | 50'ye eşit ya da daha az | 62 | 41 |
| | | 51-100 | 24 | 16 |
| | | 101-200 | 16 | 11 |
| 6 | Otomasyon Sistemi | 200'den fazla | 48 | 32 |
| | | Var | 91 | 61 |
| | | Yok | 40 | 27 |
| | | Süreçte | 19 | 12 |

Bu çalışmada, Endüstri 4.0 güçlükleri için ortalama ve standart sapma gibi tanımlayıcı istatistikler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2: Endüstri 4.0 güçlüklerine ankette verilen cevapların ortalaması ve standart sapması

| S. No. | Güçlükler | Ortalama | Standart Sapma |
|--------|---|----------|----------------|
| 1 | Endüstri 4.0 etkileri üzerindeki anlayış eksiklikleri | 3.966 | 0.944 |
| 2 | Endüstri 4.0'ı benimseme konusunda zayıf AR-GE faaliyetleri | 3.833 | 1.012 |
| 3 | Yasal zorunluluklar | 3.106 | 1.188 |
| 4 | Zayıf şirketlerin dijital operasyon vizyonu ve stratejisi | 3.566 | 1.200 |
| 5 | Yetersiz yönetim desteği | 3.273 | 1.169 |
| 6 | Uygulamaları destekleyen kılavuz eksikliği ve karmaşık sorunlar | 3.093 | 1.082 |
| 7 | Dijital kültür eksikliği | 3.966 | 1.077 |
| 8 | Dijital yatırımların belirsiz ekonomik yararı | 3.200 | 1.305 |
| 9 | Global standartların ve veri paylaşım protokollerinin eksikliği | 3.353 | 1.130 |
| 10 | Altyapı ve internet tabanlı ağların eksikliği | 3.526 | 1.334 |
| 11 | Yeni iş modellerini uygulama konusunda yetkinlik eksiklikleri | 4.040 | 0.982 |
| 12 | Zayıf veri kalitesi | 3.606 | 1.209 |
| 13 | Teknoloji platformlarında entegrasyon eksikliği | 3.780 | 1.134 |
| 14 | Koordinasyon ve işbirliği sorunu | 3.866 | 1.027 |
| 15 | Güvenlik sorunları | 3.613 | 1.151 |
| 16 | Devlet desteği ve politikalarının eksikliği | 3.826 | 1.139 |
| 17 | Finansal kısıtlar | 3.953 | 1.082 |
| 18 | Endüstri 4.0' a yönelik isteksiz davranışlar | 3.513 | 1.162 |

Yukarıda listelenen tüm güçlükler 3'ten büyük ortalama değer elde etmiştir. Bu da belirtilen tüm güçlüklerin önemli olduğunu göstermektedir.

3.2.1. Keşfedici Faktör Analizi

Keşfedici Faktör Analizi (KFA), veri azaltımı ve analizi için kullanılmaktadır (Hair vd., 2006). Bu çalışmada da SPSS Version 20.0 kullanılarak faktör analizi ve güvenilirlik testleri yapılmıştır. Elde edilen KMO değeri (0.841), önerilen minimum değerden (0.6) önemli ölçüde fazladır (Kaiser, 1974; Hair vd., 2006). Güçlüklerin değerlendirilmesinde Bartlett'in Sphericity Testi de önemlidir ($p < 0.01$).

Bu çalışmada, tüm zorluklar 0.5' in üzerinde faktör yüküne ve 0,7'den fazla Cronbach'ın alfa değerlerine sahiptir (Nunnally, 1978; Hu ve Hsu, 2010; Luthra vd., 2016a). Tablo 3'te faktör analizi sonuçları açıklanmaktadır. Belirlenen güçlükler 4 boyut (Teknolojik Güçlükler (TG), Legal ve Etik güçlükler (LG), Örgütsel Güçlükler (ÖG) ve Stratejik

Güçlükler (SG)) altında toplanmıştır. Bu boyutlar; toplam varyansın yarısından fazlasıyla açıklanmaktadır (%61.161). KFA'dan elde edilen sonuçlara tüm boyutların yükleri aşağıda verilmiştir:

Boyut 1- Teknolojik Güçlükler (TG): Sürdürülebilir tedarik zinciri için Endüstri 4.0 yayılımında yaşanan teknolojik engeller ile ilgili dört güçlükten oluşmaktadır. Bu boyut varyansın % 35.728 ile açıklanmaktadır.

Boyut 2- Örgütsel Güçlükler (ÖG): Endüstri 4.0 yoluyla değer zincirlerinde sürdürülebilirliğin ekolojik, ekonomik ve sosyal yönlerini benimsemek için örgütsel düzeydeki engelleri temsil etmektedir. Bu boyut, varyansın %10.632'ini açıklayan yedi zorluktan oluşmaktadır.

Boyut 3- Legal ve Etik Güçlükler (LG): Sürdürülebilir Tedarik Zincirinde Endüstri

4.0 kavramlarının benimsenmesinde yasal ve etik konularla uğraşmaktadır. Bu boyut dört zorluktan oluşmaktadır ve varyansın %7.659'unu açıklamaktadır.

Boyut 4- Stratejik Güçlükler (SG): Sürdürülebilir Tedarik Zincirinde Endüstri 4.0 yayılımı ile ilgili stratejik konularla ilgili üç zorluktan oluşmaktadır. Bu boyut, varyansın %7.142' sini açıklamaktadır.

Tablo 3: Keşfedici Faktör Analizi (KFA) Sonuçları

| Boyut | Güçlükler | Yükler | Eigen Değerleri | Kümülatif Yüzdeler |
|------------|---|--------|-----------------|--------------------|
| Teknolojik | Zayıf veri kalitesi (TG1) | 0.774 | 6.431 | 35.728 |
| Güçlükler | Altyapı ve internet tabanlı ağların eksikliği (TG2) | 0.733 | | |
| (TG) | Teknoloji platformlarında entegrasyon eksikliği(TG3) | 0.730 | | |
| | Güvenlik sorunları (TG4) | 0.688 | | |
| Örgütsel | Endüstri 4.0 etkileri üzerindeki anlayış eksiklikleri (ÖG1) | 0.799 | 1.914 | 46.360 |
| Güçlükler | Endüstri 4.0'ı benimseme konusunda zayıf AR-GE faaliyetleri (ÖG2) | 0.707 | | |
| (ÖG) | Yetersiz yönetim desteği (OG3) | 0.697 | | |
| | Dijital kültür eksikliği (OG4) | 0.618 | | |
| | Yeni iş modellerini uygulama konusunda yetkinlik eksiklikleri (OG5) | 0.597 | | |
| | Koordinasyon ve işbirliği sorunu (OG6) | 0.548 | | |
| | Endüstri 4.0' a yönelik isteksiz davranışlar (OG7) | 0.514 | | |
| Legal ve | Devlet desteği ve politikalarının eksikliği (LG1) | 0.796 | 1.379 | 54.019 |
| Etik | Finansal kısıtlar (LG2) | 0.749 | | |
| Güçlükler | Yasal zorunluluklar (LG3) | 0.551 | | |
| (LG) | Zayıf şirketlerin dijital operasyon vizyonu ve stratejisi (LG4) | 0.522 | | |
| Stratejik | Dijital yatırımların belirsiz ekonomik yararı (SG1) | 0.746 | 1.286 | 61.161 |
| Güçlükler | Global standartların ve veri paylaşım protokollerinin eksikliği(SG2) | 0.693 | | |
| (SG) | Uygulamaları destekleyen kılavuz eksikliği ve karmaşık sorunlar (SG3) | 0.560 | | |

Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization (Rotation converged in 5 iterations). KMO measure of sampling adequacy = 0.841; Cronbach's alpha = 0.845. Bartlett's Test of Sphericity: Approx. Chi-Square = 1175.431; df = 153; Sig. = 0.000.

3.2.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP, 1980 yılında Prof. Thomas L. Saaty tarafından önerilen bir karar analiz aracıdır (Saaty, 1980). Karmaşık karar problemlerini çoklu düzeylerden oluşan düzenli bir yapıya dönüştürür

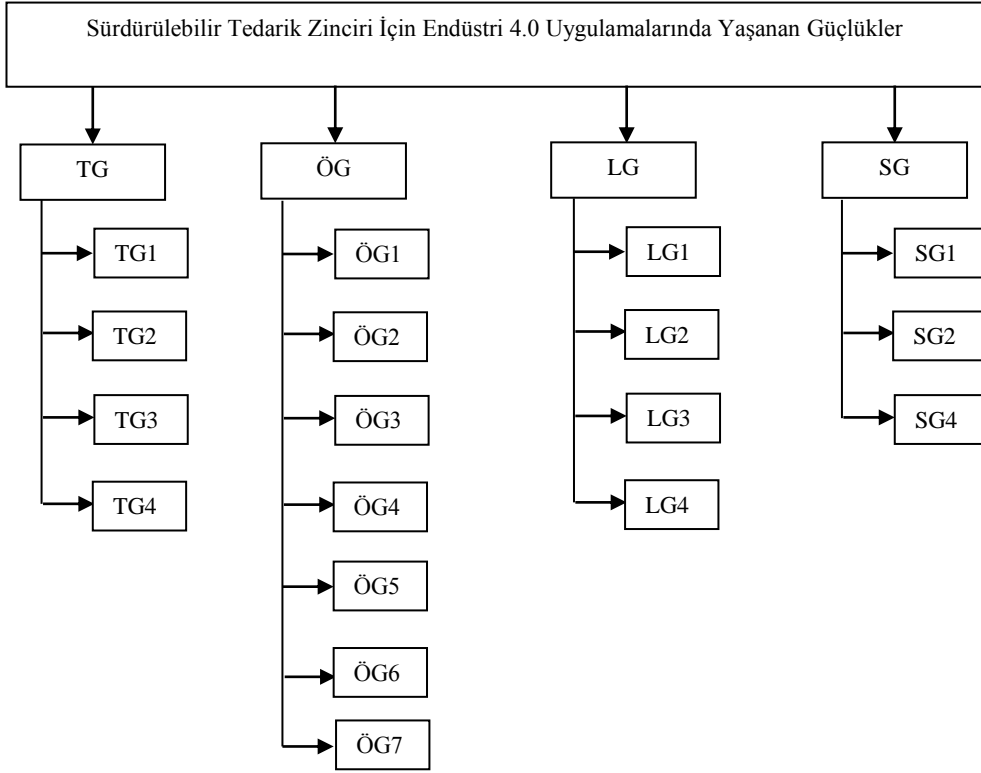
(Papalexandrou vd., 2008; Dey ve Cheffi, 2013). AHP, yaygın kabul edilebilirliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle ANP' ye göre daha iyi bir karar verme aracı olarak kullanılmaktadır (Mangla vd. 2015; Luthra vd., 2017). Bununla birlikte, AHP

kararlarda küçük tutarsızlıklar içerebilmektedir (Gandhi vd., 2016). Bu çalışmada, tedarik zincirinde Endüstri 4.0 tabanlı sürdürülebilirliğin sağlanmasında belirlenen güçlükleri analiz etmek için AHP metodu kullanılmıştır. AHP'nin adımları şu şekilde verilmiştir: (Luthra vd., 2016b):

Adım 1: Çalışmanın Amacının Oluşturulması

AHP, uzmanların görüşleri ile ana güçlüklerin ve alt güçlüklerin boyutlarının önceliğini belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı ile ilgili bir hiyerarşi, uzmanlarla tartışılarak geliştirilmiştir. AHP analizi için, dört uzmandan oluşan bir uzman paneli (iki akademisyen ve iki Endüstri 4.0 uzmanı) oluşturulmuştur. Seçilen uzmanlar, imalat sistemleri ve tedarik zinciri faaliyetleri alanında yüksek düzeyde bilgili ve yetenekli profesyonellerdir. Seçilen uzmanlar 10 yıldan fazla iş tecrübesine sahiptir. Sürdürülebilir tedarik zinciri için Endüstri 4.0 uygulamalarında yaşanan güçlüklerin hiyerarşik yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Endüstri 4.0 Uygulamalarında Yaşanan Güçlüklerin Hiyerarşik Yapısı

Adım 2: Güçlükler arasında ikili karşılaştırmaları geliştirilmesi

Uzmanların kararına dayanarak hem ana güçlükler hem de alt güçlükler Saaty'nin ölçeği ile çift yönlü karşılaştırmalar yapılarak değerlendirilmiştir (Saaty, 1980). Bu değerlendirme Expert Choice programı kullanılarak yapılmıştır.

Adım 3: Göreceli önem ağırlıklarının ve tutarlılık oranının hesaplanması

Çift yönlü karşılaştırmalar temelinde, ana güçlüklerin göreceli öncelik ağırlıkları Tablo 4'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Tablo 4'e göre ana güçlükler arasında Örgütsel Güçlükler (ÖG) 0.383 ağırlığı ile ilk sıradadır. Teknolojik Güçlükler (TG) 0.273 ağırlığı ile ikinci

sıradadır. Legal ve Etik Güçlükler (LG) 0.219 ağırlığı ile üçüncü sırada olup ve son sırada 0.125 ağırlığı ile Stratejik Güçlükler (SG) yer almıştır. Tablo 4'te de olduğu gibi Tablo 5'te de tüm çiftli karşılaştırma matrislerindeki tutarlılık oranı izin verilen sınırın altındadır, dolayısıyla sonuçlar oldukça kabul edilebilirdir. Tablo 5'deki alt boyutların global ağırlıklarına baktığımızda ilk sırada 0.125 ağırlığı Altyapı ve internet tabanlı ağların eksikliği (TG2) gelmektedir. İkinci sırada ise 0.103 ağırlığı ile Yetersiz yönetim desteği bulunmaktadır. Üçüncü sırada da 0.077 global ağırlığı ile Devlet desteği ve politikalarının eksikliği gelmektedir.

Tablo 4: Endüstri 4.0 güçlüklerinin dört ana boyutunun karşılaştırma matrisi

| S. No. | Güçlüklerin Ana Boyutları | TG | OG | LG | SG | Ağırlık | Sıralama |
|--------|------------------------------|-----|-----|-----|----|---------|----------|
| 1 | Teknolojik Güçlükler (TG) | 1 | 1/2 | 2 | 2 | 0.273 | 2 |
| 2 | Örgütsel Güçlükler (ÖG) | 2 | 1 | 2 | 2 | 0.383 | 1 |
| 3 | Legal ve Etik Güçlükler (LG) | 1/2 | 1/2 | 1 | 3 | 0.219 | 3 |
| 4 | Stratejik Güçlükler (SG) | 1/2 | 1/2 | 1/3 | 1 | 0.125 | 4 |

Tutarlılık Oranı:0.08

Tablo 5: Sürdürülebilir tedarik zinciri için Endüstri 4.0 girişimlerine yönelik güçlüklerin sıralanması.

| Ana Güçlükler | Yerel Ağırlıklar | Alt Güçlükler | Yerel Ağırlıklar | Yerel Sıralama | Global Ağırlıklar | Global Sıralama |
|------------------------------|------------------|---|------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| Teknolojik Güçlükler (TG) | 0.273 | Zayıf veri kalitesi (TG1) | 0.144 | 4 | 0.039 | 14 |
| | | Altyapı ve internet tabanlı ağların eksikliği (TG2) | 0.459 | 1 | 0.125 | 1 |
| | | Teknoloji platformlarında entegrasyon eksikliği (TG3) | 0.226 | 2 | 0.061 | 7 |
| | | Güvenlik sorunları (TG4) | 0.172 | 3 | 0.046 | 11 |
| Örgütsel Güçlükler (ÖG) | 0.383 | Endüstri 4.0 etkileri üzerindeki anlayış eksiklikleri (ÖG1) | 0.142 | 4 | 0.054 | 10 |
| | | Endüstri 4.0'ı benimseme konusunda zayıf AR-GE faaliyetleri (ÖG2) | 0.175 | 2 | 0.067 | 4 |
| | | Yetersiz yönetim desteği (OG3) | 0.270 | 1 | 0.103 | 2 |
| | | Dijital kültür eksikliği (OG4) | 0.111 | 5 | 0.042 | 12 |
| | | Yeni iş modellerini uygulama konusunda yetkinlik eksiklikleri (OG5) | 0.084 | 6 | 0.032 | 15 |
| | | Koordinasyon ve işbirliği sorunu (OG6) | 0.070 | 7 | 0.026 | 16 |
| | | Endüstri 4.0' a yönelik isteksiz davranışlar (OG7) | 0.148 | 3 | 0.056 | 8 |
| Legal ve Etik Güçlükler (LG) | 0.219 | Devlet desteği ve politikalarının eksikliği (LG1) | 0.356 | 1 | 0.077 | 3 |
| | | Finansal kısıtlar (LG2) | 0.295 | 2 | 0.064 | 6 |
| | | Yasal zorunluluklar (LG3) | 0.251 | 3 | 0.054 | 9 |
| | | Zayıf şirketlerin dijital operasyon vizyonu ve stratejisi (LG4) | 0.098 | 4 | 0.021 | 17 |
| Stratejik Güçlükler (SG) | 0.125 | Dijital yatırımların belirsiz ekonomik yararı (SG1) | 0.140 | 3 | 0.017 | 18 |
| | | Global standartların ve veri paylaşım protokollerinin eksikliği (SG2) | 0.528 | 1 | 0.066 | 5 |
| | | Uygulamaları destekleyen kılavuz eksikliği ve karmaşık sorunlar (SG3) | 0.333 | 2 | 0.041 | 13 |

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada belirlenen 18 güçlük ifadesini doğrulamak ve dört ana faktörde değerlendirmek için KFA yapılmıştır. Bu boyutlar: Teknolojik Güçlükler (TG), Örgütsel Güçlükler (ÖG), Legal ve Etik Güçlükler (LG) ve Stratejik Güçlükler (SG) olarak adlandırılabilir. Faktör analizinde değerlendirilen güçlükler AHP kullanılarak sıralanmış ve ağırlıklar incelendiğinde öncelikli sırayı örgütsel güçlüklerin aldığı (ÖG) görülmüştür. Daha sonra sırasıyla Teknolojik, Yasal ve Etik ve son olarak Stratejik Güçlükler yer almıştır.

Örgütsel Güçlükler (ÖG) boyutunun altındaki güçlükler incelendiğinde, “yetersiz yönetim desteğinin varlığı” ifadesi ön plana çıkmıştır, ayrıca aynı ifade global sıralamada da 2. sırada yer alan ifade olmuştur. Bu durum Endüstri 4.0 kavramının karmaşıklığı ve tek bir ideal tanıma sahip olmaması düşüncesini destekler bulunmuştur (Brettel vd., 2014). Bu anlamda ülkemiz genelinde Endüstri 4.0 kavramının daha çok anlamlandırılıp, bilinir hale getirilmesi gereklidir. Ancak bu şekilde Endüstri 4.0 girişimleri uygulama safhasına geçebilecektir. Bu durum “zayıf AR-GE faaliyetleri” ifadesinin 2. önem sıralamasında yer almasıyla da bir nevi doğrulanmaktadır. ÖG ana faktörü altındaki sıralamada geride olan ifadeler “yeni iş modellerini uygulama konusunda yetkinlik eksiklikleri” ve “koordinasyon ve işbirliği sorunu” ifadeleri 6. ve 7. sırada yer almış ve aynı güçlükler görece global sıralamada da 16. ve 17. sıralarda yer bulmuştur. Bu durum, yönetimde bulunan bireylerin Endüstri 4.0’a proaktif yaklaşmalarını gerektiren ve aynı zamanda sürdürülebilir kılmak adına stratejik bir bakış açısı benimsemelerini gerekli kılmaktadır. Organizasyonel stratejiler benimsenerek ve liderlik araçlarını firma stratejisine odaklayarak dönüşüm yapılması gereklidir. Üçüncü sırada yer alan örgütsel güçlük ise “Endüstri 4.0’a yönelik isteksiz davranışlar” olmuştur. Dördüncü sırada “Endüstri 4.0 etkileri üzerindeki anlayış eksiklikleri”, takiben “dijital kültür

eksikliği” ise beşinci önemli güçlük olarak belirlenmiştir. Bu sıralama bize, ülkemizde küresel anlamda var olan güçlüklerden daha ziyade, Endüstri 4.0 kavramı ile ilgili bilinç düzeyinin yetersiz oluşu ve dolayısıyla uygulama aşamasından çok, Endüstri 4.0 girişimleri hakkındaki bilgi düzeyinin artırılması gerektiği bulgusuna ulaşılmıştır.

Teknolojik Güçlükler (TG) ana boyutunun altında ise; “altyapı ve internet tabanlı ağların eksikliği” önem sıralamasında ilk sırada yer almıştır. İkinci olarak, “teknoloji platformlarında entegrasyon eksikliği” güçlüğü ortaya çıkmaktadır. İlk iki sıralama bizlere Endüstri 4.0’da önce akıllara altyapı ve teknoloji eksikliğinin geldiğini, dolayısıyla “güvenlik sorunu” ve “zayıf veri kalitesi” güçlüklerinden ziyade daha yapısal problemlerin olduğunu ortaya koymaktadır.

Legal ve Etik Güçlükler (LG) boyutunda ise, “devlet desteği ve politikalarının eksikliği” önem sıralamasında başı çekmektedir. Bu durum, Endüstri 4.0’ın karar yapıcılar tarafından da tam olarak anlaşılmadığının da bir göstergesi olabilir. Uygulamadan önce karar almak gereklidir. Ülkemizde bu açıdan yenilikleri destekleyici olmak, başı çekmek ve hatta teşviklerde bulunulması vb. beklentiler, bu güçlüğün ilk sırada olmasında rol oynamış olabilir. Bu boyutta yer alan önem sıralamaları ise şu şekilde gerçekleşmiştir: “finansal kısıtlar”, “yasal zorunluluklar”, “zayıf şirketlerin dijital operasyon vizyonu ve stratejisi”.

Son olarak Stratejik Güçlükler (SG) son ana boyut olarak yer almakta ve “global standartların ve veri paylaşım protokollerinin eksikliği” önem sırasında başı çeken güçlük olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bakıldığında yine yapısal bir sorun olarak ifade edilebilir. İkinci önem sırasını “uygulamaları destekleyen kılavuz eksikliği ve karmaşık sorunlar” almıştır. Üçüncü sırada ise, “dijital yatırımların ekonomik yararlarının belirsizliği” yer almıştır. Bu durum yine literatürde yer alan fayda-maliyet analizi yapılmasını öngören düşünceleri destekler bir bulgudur (Hofmann ve Rüsçh, 2017).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Türkiye’de sürdürülebilir tedarik zincirini planlamak ve uygulayabilmek için, Endüstri 4.0 girişimlerinin güçlüklerini tanımayı ve analiz etmeyi amaçlamaktadır. Endüstri 4.0 tabanlı bir konsept ortaya koyabilmek için tedarik zincirinin her süreci gözden geçirilerek, sadece teknolojik, örgütsel, legal veya stratejik değil, çalışan ve toplum refahı ölçümlerinin de bir araya getirilmesi gereklidir.

5.1. Teorik Katkı

Endüstri 4.0’ın iş modelleriyle bütünleştirilebilmesi ve sürdürülebilirliği henüz ilk aşamalarında. Özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler için yeni bir adımdır ve iş hayatı ile bütünleşebilmesi ve anlaşılabilmesi için net bir tanıma ihtiyacı vardır. Bu bakış açısı ile yola çıkarak, sürdürülebilir odaklı tedarik zinciri geliştirebilmek ve uygulayabilmek için Luthra ve Mangla (2018) çalışmasından 18 temel güçlük uyarlanmıştır. KFA ile analiz edilmiş ve teorik olarak boyutlara ayrılmıştır. Daha sonra AHP ile, belirlenen güçlükler ve alt güçlükler sıralanmıştır. Çalışma sonucunda örgütsel güçlükler başı çekmek üzere, teknolojik güçlükler, yasal ve etik güçlükler ve stratejik güçlükler önem sıralamasında yer almıştır. Bu çalışma Endüstri 4.0 ve sürdürülebilir tedarik zinciri alanının ve dolayısıyla değer zinciri ile ilgili teoriye katkıda bulunmak için bir çaba niteliğindedir. Endüstri 4.0 girişimlerinin uygulanabilmesi, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde tedarik zincirinin genişletilmesi ve dolaylı olarak yeşil tedarik zincirinin de (yeşil üretim/süreçler, yeşil ürün vb.) potansiyelinin ortaya çıkarılması demektir. Bütün bunların olabilmesinin ön koşulu ise, Endüstri 4.0 girişimlerinin, karar yapıcılar ve uygulayıcılar tarafından derinlemesine anlaşılabilmesidir. Bir sonraki adım ise, Endüstri 4.0’ın benimsenmesinde potansiyel güçlüklerin saptanarak ortadan kaldırılmasıdır. Bu şekilde, çevre, ekonomik kazanç, birey-toplum refahı geliştirilip, tedarik zincirinde sürdürülebilirlik sağlanabilecektir.

5.2. Yönetici ve Uygulayıcılara Katkı

Bu çalışma süreç içerisinde yer alan yöneticilere ve mühendislere değer zincirinde sürdürülebilir olabilmek adına katkı sağlamaktadır. Endüstri 4.0 kavramını anlamlandırma ve uygulanabilir kılabilmek için olası güçlüklerin (gelişmekte olan ekonomiler için) tanımlanması sağlanmıştır. Bu sayede, değer zinciri içerisinde yer alan yönetici ve mühendisler, süreçleri ve operasyonları tasarlama, yürütme, kontrol etme ve optimize etme adımlarında belirlenen güçlüklerin ve önem sıralarını kendi karar mekanizmalarına dahil edebilirler. Bu çalışmada elde edilen güçlükleri ile uygun materyal seçiminden, yeni enformasyon teknolojilerinin kararı ve kullanımına; nesnelerin interneti, bulut bilişim ve robotik kullanımına kadar uzayan Endüstri 4.0 girişimleri skalasında nerede olduklarına ve nereye gideceklerine karar verebilmelerinde yol gösterici olacaktır. Örgütlerin amaç ve hedeflerini gerçekleştirmek üzere ki; Endüstri 4.0 bağlamında bakıldığında -süreç tasarımı, robotlar ve sensörler yardımıyla kontrol sağlama, üretimde daha yüksek verimlilik sağlama, üretimi sürdürülebilir kılma vb. nitelikleri sağlamaktan geçmektedir. Mevcut kavramın kazanımlarının iş dünyasına büyük ve farklı etkilere sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür radikal dönüşümler, iş çıktılarını ve esnekliği artırabilirken, aynı zamanda çevreye daha çok kaynak tüketimi ve enerji gereksinimi açısından da zarar verici olabilirler. Çalışmanın bulguları bu anlamda sürdürülebilir noktaları vurgulayarak, Endüstri 4.0 tabanlı uygulamaları anlama, uygulamaların durumu ve etkilerini anlamak adına uygulayıcı, yönetici ve tedarik zinciri içindeki tüm paydaşlara yardımcı olabilir. Türkiye’nin de küresel rekabette yer alabilmesi adına, Endüstri 4.0 girişimlerini bilinçli olarak benimsemelidir. Bu anlamda Endüstri 4.0 tabanlı uygulamalar yaratarak ve uygulayarak; istihdam ve birey-toplum refahını arttıran ve sonuçta toplumun yaşam kalitesini arttıran bir iş sistemi düşüncesi hızla benimsenmelidir.

5.3. Kısıtlar ve Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Bu çalışma geliştirmekte olan ülkelerde ön görülen 18 güçlü temelde ilerlemiştir. Benzer ülkelerde yapılacak benzer araştırmalar ve karşılaştırılmaları gelecek çalışmalara dahil edilebilir. Bu çalışmada veriler, online anket oluşturularak toplanmıştır. Karma bir metodoloji

kullanarak, daha fazla sayıda bilgi toplanıp, Türkiye genelinde Endüstri 4.0 girişimleri ve uygulayıcıların bakış açısı ortaya konabilir. Gelecek çalışmalarda güçlüklere geliştirilerek, nedensellik ve bağımlılıklar ön plana çıkarılabilir. AHP ile yapılan analiz, diğer çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak, sektörel bazda karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

1. Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., ve Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective. *Int. J. Mech. Ind. Sci. Eng.*, 37-44.
2. De Sousa Jabbour, A., Jabbour, C., Godinho Filho, M., ve Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Ann. Oper. Res.*, 1-14.
3. Dey, P.K. ve Cheffi, W., (2013). Green supply chain performance measurement using the analytic hierarchy process: a comparative analysis of manufacturing organizations. *Prod. Plann. Control* 24 (8-9), 702-720.
4. Duarte, S., ve Cruz-Machado, V. I.-1. (2017). Exploring linkages between lean and green supply chain and the industry 4.0. *International Conference on Management Science and Engineering Management* (s. 1242-1252). Cham: Springer.
5. Dujin, A., Geissler, A., ve Horstkötter, D. (2014). *How Europe Will Succeed*. https://www.rolandberger.com/en/Publications/pub_industry_4_0_the_new_industrial_revolution.html. adresinden alındı
6. Gandhi, S., Mangla, S.K., Kumar, P., Kumar, D., (2016). A combined approach using AHP and DEMATEL for evaluating success factors in implementation of green supply chain management in Indian manufacturing industries. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 19 (6), 537-561.
7. Hair Jr., J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L., (2006). *Multivariate Data Analysis: A Global Perspective*, 7th edition. Pearson publications, Upper Saddle River, Boston.
8. Hermann, M., Pentek, T., ve Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Koloa, HI*, (s. 3928-3937).
9. Hofmann, E., ve Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Comput. Ind.*, 89, 23-34.
10. Hu, A.H., Hsu, C.W., (2010). Critical factors for implementing green supply chain management practice: an empirical study of electrical and electronics industries in Taiwan. *Management Research Review* 33 (6), 586-608.
11. Johannes, C. d., ve Strandhagen, J. O. (2017). Research into the potential revenue models for Industry 4.0 supported sustainable products. *Procedia CIRP*, 63, 721-726.
12. Kaiser, H.F., 1974. An index of factorial simplicity. *Psychometrika* 39 (1), 31-36.

13. Kamblea, S. S., Gunasekaranb, A., ve Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*(117), 408-425.
14. Luthra, S., ve Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chainsustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179.
15. Luthra, S., Garg, D., Haleem, A., (2016)a. The impacts of critical success factorsfor implementing green supply chain management towards sustainability:an empirical investigation of Indian automobile industry. *J. Clean. Prod.* 121,142–158.
16. Luthra, S., Mangla, S.K., Xu, L., Diabat, A., (2016)b. Using AHP to evaluate barriers inadopting sustainable consumption and production initiatives in a supply chain.*Int. J. Prod. Econ.* 181, 342–349.
17. Mangla, S.K., Kumar, P., Barua, M.K., (2015). Risk analysis in green supply chain usingfuzzy AHP approach: a case study. *Resour. Conserv. Recycl.* 104, 375–390.
18. Mittermair, M. (2015). Industry 4.0 initiatives. *SMT: Surf. mt. Technol.*, 30(3), 58-63.
19. Nunnally, J., 1978. *Psychometric Methods*. McGraw Hill, New York.
20. Oesterreich, T., ve Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Comput. Ind.* (83).
21. Papalexandrou, M.A., Pilavachi, P.A., Chatzimouratidis, A.I., (2008). Evaluation of liquidbio-fuels using the Analytic Hierarchy Process. *Process Saf. Environ. Protect.* 86(5), 360–374.
22. Saaty, T.L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Mac Graw-Hill, International Book Company, New York, pp. 287.
23. Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., ve Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175-1182.
24. Wan, J., Yi, M., Li, D., Zhang, C., Wang, S., ve Zhou, K. (2016). Mobile Services for Customization Manufacturing Systems: An Example of Industry 4.0. *IEEE Access*, 4, s. 8977-8986.
25. Wong, K. S., ve Kim, M. H. (2014). Towards self-awareness privacy protection for Internet of things data collection. *Journal of Applied Mathematics*.